УДК 551.248.(470.324)

РОЛЬ СЕМИЛУКИ-ЛИПЕЦКОГО РАЗЛОМА В НОВЕЙШЕЙ СТРУКТУРЕ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ВОРОНЕЖСКОГО ПОДНЯТИЯ

Татьяна Владимировна Суханова[1]✉, Александр Николаевич Стафеев[2], Наталия Валентиновна Макарова[3]

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; tanikamgu@mail.ru
[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; anstafeev@rambler.ru
[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; makarovanat@yandex.ru

Аннотация Одно из разрывных нарушений на юге Восточно-Европейской платформы — Семилуки-Липецкий разлом — протягивается субмеридионально вдоль границы Воронежского новейшего поднятия и Окско-Донского прогиба. Детальные исследования с применением методов инженерно-геологических, геофизических, геодезических, геохимических, структурно-геоморфологических и пр., сопровождаемые бурением и полевыми исследованиями, позволили определить тип разрывного нарушения как раздвиг при участии правосдвиговых напряжений. С ним связаны трещиноватость коренных и четвертичных отложений, оползни и обвалы, в том числе крупные гравитационно-тектонические массивы, поверхностный и подземный карст, суффозия, впадины типа пулл-апарт. В целом эти процессы влияют на геологическую устойчивость территории размещения атомной станции, вызывая развитие негативных процессов. Причины условий растяжения в зоне Семилуки-Липецкого разлома рассматриваются с двух позиций — влияние давления с юга со стороны альпийского орогена Кавказа и связь с внутриплатформенными глубинными процессами, вызывающими растяжение земной коры под Окско-Донским прогибом.

Ключевые слова: Семилуки-Липецкий разлом, трещиноватость, растяжение, раздвиг, сдвиг, оползни, пулл-апарт

Для цитирования: *Суханова Т.В., Стафеев А.Н., Макарова Н.В.* Роль Семилуки-Липецкого разлома в новейшей структуре восточного склона Воронежского поднятия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 6. С. 13–22.

THE ROLE OF THE SEMILUKY-LIPETSKY FAULT IN THE RECENT STRUCTURE OF THE EASTERN SLOPE OF THE VORONEZH UPLIFT

Tatyana V. Sukhanova[1]✉, Alexandr N. Stafeev[2], Natalya V. Makarova[3]

[1] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; tanikamgu@mail.ru
[2] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; anstafeev@rambler.ru
[3] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; makarovanat@yandex.ru

Adstract. One of the discontinuous faults in the south of the East European Platform — the Semiluki-Lipetsk fault along the border of the Voronezh newest uplift and the Oka-Don trough. Detailed studies using the methods of engineering-geological, geophysical, geodesic, geochemical, structural-geomorphological, etc., accompanied by drilling and field studies, allowed us to determine the type of discontinuity as a extension with the participation of right-strike-slip (dextral shear) stresses. It is associated with fracturing of bedrock and Quaternary sediments, landslides and falls, including large gravitational-tectonic massifs, surface and underground karst, suffusion, and pull-apart depressions. In general, these processes and phenomena affect the geological stability of the site of the nuclear power plant, causing the development of negative processes. The reasons for the extension conditions in the Semiluki-Lipetsk fault zone are considered from two positions — the influence of pressure from the south from the Alpine orogen of the Caucasus and the connection with intra-platform deep processes that cause the extension the earth's crust under the Oka-Don trough.

Keywords: Semiluki-Lipetsk fault, fracturing, extension, strike-slip, landslides, pull-apart

For citation: Sukhanova T.V., Stafeev A.N., Makarova N.V. The role of the Semiluky-Lipetsky Fault in the recent structure of the eastern slope of the Voronezh uplift. *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 6: 13–22. (In Russ.).

Введение. На территорию Восточно-Европейской платформы разными авторами составлено множество схем линеаментов, выделенных по результатам дешифрирования космо- и аэрофотоснимков в разном масштабе, топографическим картам и цифровым моделям рельефа и другим особенностям рельефа. При этом многие линеаменты прямо отождествляются с разломами фундамента, бо̀льшая часть которых выделена предположительно геофизическими методами и в осадочном чехле не всегда прослеживается. Некоторые авторы термин «разлом» заменяют другими терминами: «неоструктурные линии», «зоны динамического влияния разломов», «слабые зоны», «блокоразделы» и пр.

По мнению исследователей, разломы фундамента, активизированные в новейший тектониче-

ский этап, обусловили широкое развитие блоковых структур и разрывных границ между ними. Если это так, то палеозойские или мезозойско-кайнозойские отложения, слагающие новейшие блоки, должны быть деформированы, т. е. находиться на разной высоте. Однако по данным геологической съемки горизонтальное залегание осадочной толщи, перекрывающей фундамент, прослеживается на больших территориях, и смещения слоев наблюдаются лишь в редких случаях. Г.Н. Иванченко, например, считает, что «это не блоки в тектоническом смысле, когда каждый блок характеризуется определенной самостоятельностью движений, а как бы начальная стадия этого процесса...» [2005. с. 132]. Существование блоков можно было бы подтвердить деформациями террас, поверхностей выравнивания и других геоморфологических уровней. Однако в условиях малой амплитуды рельефа платформы, задернованности склонов и развития мощных покровных образований (морен, лёссов) их не так просто обнаружить. Признавая движения по разломам фундамента в новейший тектонический этап, многие авторы считают, что на их проявление в виде деформаций осадочного чехла (перемещения слоев) мощностью несколько сотен метров, а часто и километров, требуются надежные доказательства. При этом косвенное влияние погребенных разломов фундамента в виде трещиноватости осадочных пород, развития различных аномалий на поверхности и пр. можно видеть во многих местах.

Влиянием разломов принято объяснять негативные процессы, происходящие на разных объектах, в частности, на площадках некоторых атомных электростанций (деформации фундаментов, крены сооружений, просадки поверхности и др.). Однако данные бурения во многих случаях не подтверждают существование предполагаемых разломов через строительные площадки, не всегда они устанавливаются (кроме трещиноватости пород) в осадочном чехле и геофизическими методами. Преувеличенная роль разломов в новейшей тектонике платформы иногда не позволяет видеть другие причины развития негативных процессов.

Материалы и методы исследований. Большое значение для изучения разрывных нарушений на Восточно-Европейской платформе имеют детальные геологические исследования, проводимые на территориях предполагаемого строительства новых или работающих атомных электростанций или других инженерных объектов. Комплекс используемых при этом методов — инженерно-геологических, геофизических, геодезических, геохимических, структурно-геоморфологических и др., сопровождаемых бурением и полевыми исследованиями, — позволяет достаточно полно охарактеризовать геологическое строение территорий, опровергнуть или подтвердить существование ранее предполагаемых разрывных нарушений, а в последнем случае определить тип нарушений, изучить и оценить их влияние на геологическую устойчивость территорий размещения инженерных объектов.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотрены результаты изучения с помощью перечисленных выше методов одного из региональных разрывных нарушений — Семилуки-Липецкого разлома (СЛР), находящегося в южной части Восточно-Европейской платформы, в области относительно неглубокого (70–100 м от поверхности) залегания фундамента. На одних схемах разломов фундамента этот разлом (другие названия Липецкий, Семилуки-Ряжский, Липецко-Воронежский) показан предположительно [Раскатов и др., 1976; Трегуб, 2002], на других — он отсутствует. Нет его и на региональных геологических картах, так как в процессе геологической съемки деформации слоев по нему не обнаружены. На карте Новейшей тектоники Северной Евразии [Грачев, 1997] СЛР показан предположительно.

Семилуки-Липецкий разлом в доновейшей региональной тектонической структуре юга Восточно-Европейской платформы. Разлом имеет древнее заложение — он входит в структуру протерозойской Лосевской шовной зоны или сутуры [Чернышов и др., 1997; Трегуб, 2002; Надежка и др., 2003; Литосфера…, 2012], разделяющей мегаблоки фундамента Воронежского кристаллического массива разного строения (рис. 1). На западе от нее расположен поднятый Курский мегаблок с архейским гранит-зеленокаменным комплексом пород, на востоке — относительно опущенный Хоперский мегаблок с нижнепротерозойским вулканогенно-терригенным комплексом пород. Лосевская зона, насыщенная интрузиями, нарушенная разрывами различной кинематики, образована в результате коллизионного и постколлизионного орогенеза в раннем протерозое. Она протягивается субмеридионально на сотни километров до Пачелмского авлакогена на севере и Днепровско-Донецкого на юге, ширина зоны от 30 до 100 км. Древние комплексы Лосевской зоны перекрыты отложениями чехла: палеозойскими, начиная со среднего девона полого наклонными на северо-восток к Московской синеклизе, и мезозойскими, наклонными на юго-восток к Днепровско-Донецкому прогибу. Особенности строения территории зоны проявлялись на протяжении всей геологической истории, что доказывается мощностью и фациями палеозойских и мезозойских отложений, определенных в результате геологической съемки.

Семилуки-Липецкий разлом в новейшей региональной тектонической структуре. Мегаблоки Воронежского кристаллического массива, разделенные древней Лосевской зоной, фактически сохраняются и в новейшей структуре района. Это крупные новейшие платформенные структуры — Воронежское поднятие и Окско-Донской прогиб. Границей между ними служит зона СЛР, к которой приурочена современная долина Дона.

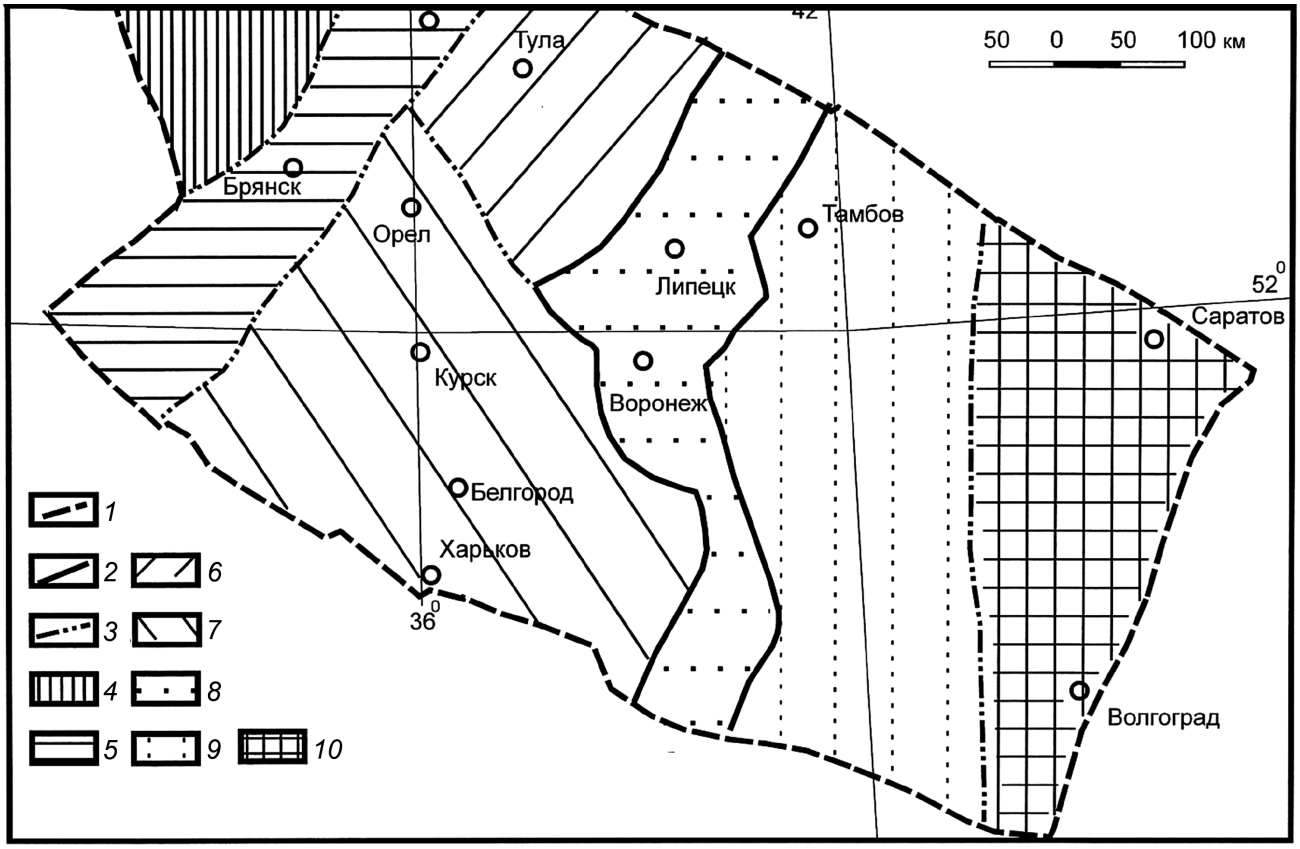

Рис. 1. Мегаблоки фундамента Воронежского кристаллического массива (по И.И. Кривцову, Н.С. Афанасьеву, 1996). Границы: *1* — ВКМ; *2* — мегаблоков, *3* — макроблоков. Макроблоки мегаблока КМА: *4* — Рославльский, *5* — Брянский, *6* — Ливенско-Ефремовский, *7* — Орловско-Курский, *8* — Лосевская шовная зона. Макроблоки: *9* — Калачско-Эртильский, *10* — Камышинский

В исследуемый район входят восточный склон Воронежского поднятия, образующий высокое (абс. отметки 200–250 м) правобережье Дона, и западная часть Окско-Донского прогиба, представленная плиоцен-четвертичным Кривоборским прогибом, которому в рельефе соответствует низкое (абс. отметки 120–160 м) левобережье Дона. Здесь в 45 км южнее Воронежа расположена Нововоронежская АЭС (рис. 2).

Субмеридиональная ориентировка долины Дона в пределах Кривоборского прогиба позволила выделить здесь линеаментную зону такого же простирания, представленную на космотектонической карте европейской части России [Космотектоническая…, 1989]. При общем субмеридиональном простирании (северо-запад 355° и восток–северо-восток 10°) линеаментная зона включает локальные линеаменты: северо-западные (330, 325, 315, 295°), субмеридиональные (0–10°) и северо-восточные (20–45°) (рис. 3).

На высоком правобережье Дона линеаментная сеть более густая, чем на левобережье. Линеаменты здесь выделены по прямолинейным уступам, ограничивающим русло Дона со стороны Воронежского поднятия, и оврагам, прорезающим карбонатные породы склона. На низком левобережье линеаменты выражены в прямолинейных отрезках русла Дона, многочисленных старицах на пойме, ориентированных вдоль русла, а также ложбинах и оврагах, прорезающих рыхлые четвертичные и плиоценовые отложения.

Полевые исследования зоны Семилуки-Липецкого разлома (СЛР). В связи с тем, что влиянием разломов объясняются негативные процессы, происходящие на территории размещения Нововоронежской АЭС (далее НВАЭС), более детально исследован меридиональный участок СЛР от устья р. Воронеж на севере до устья р. Потудань на юге. Геологическое строение правобережья и левобережья Дона на исследуемом участке существенно различно. Высокий обрывистый правый склон долины в основании по данным бурения сложен средне- и верхнедевонскими глинами и карбонатами, нижнемеловыми песчаниками и глинами барремского яруса (K_1br). Верхняя обнаженная часть уступа сложена карбонатной толщей верхнего мела (K_2) — преимущественно мергелями и писчим мелом. На них залегают палеогеновые и четвертичные отложения, слагающие более пологую часть склона, полностью задернованную. Общая мощность отложений на правобережье, залегающих на фундаменте, около 200 м.

В низком левобережье Дона карбонатная толща верхнего мела и палеогеновые отложения размыты в процессе длительной направленной миграции русла Дона на запад, и на средне- и верхнедевонских или

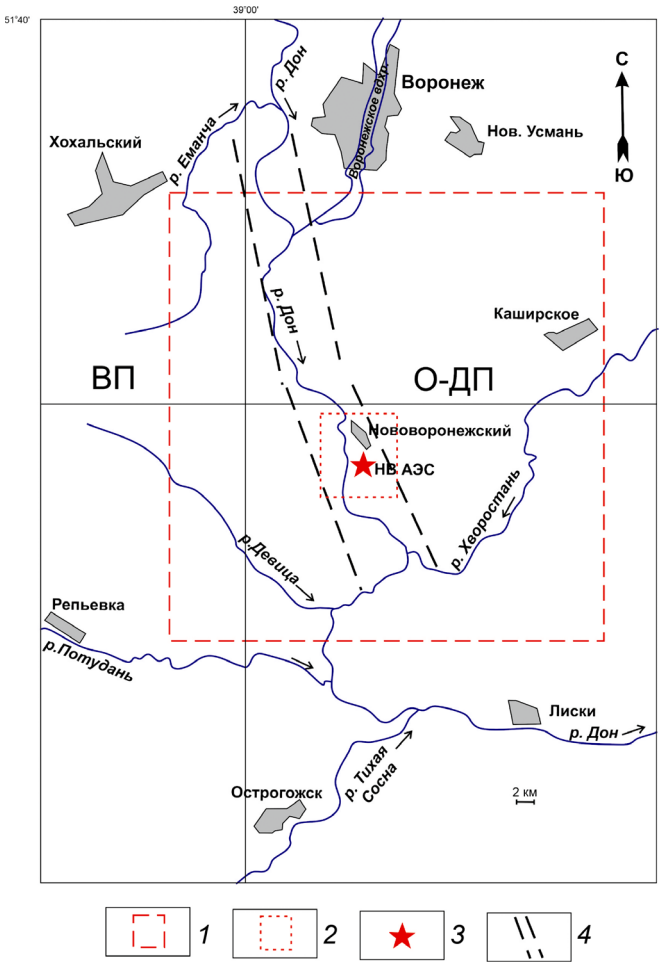

Рис. 2. Зона Семилуки-Липецкого разлома (ВП — Воронежское поднятие, О-ДП — Окско-Донской прогиб): *1* — территория исследования, *2* — пункт размещения НВ АЭС, *3* — площадка НВ АЭС, *4* — зона Семилуки-Липецкого разлома

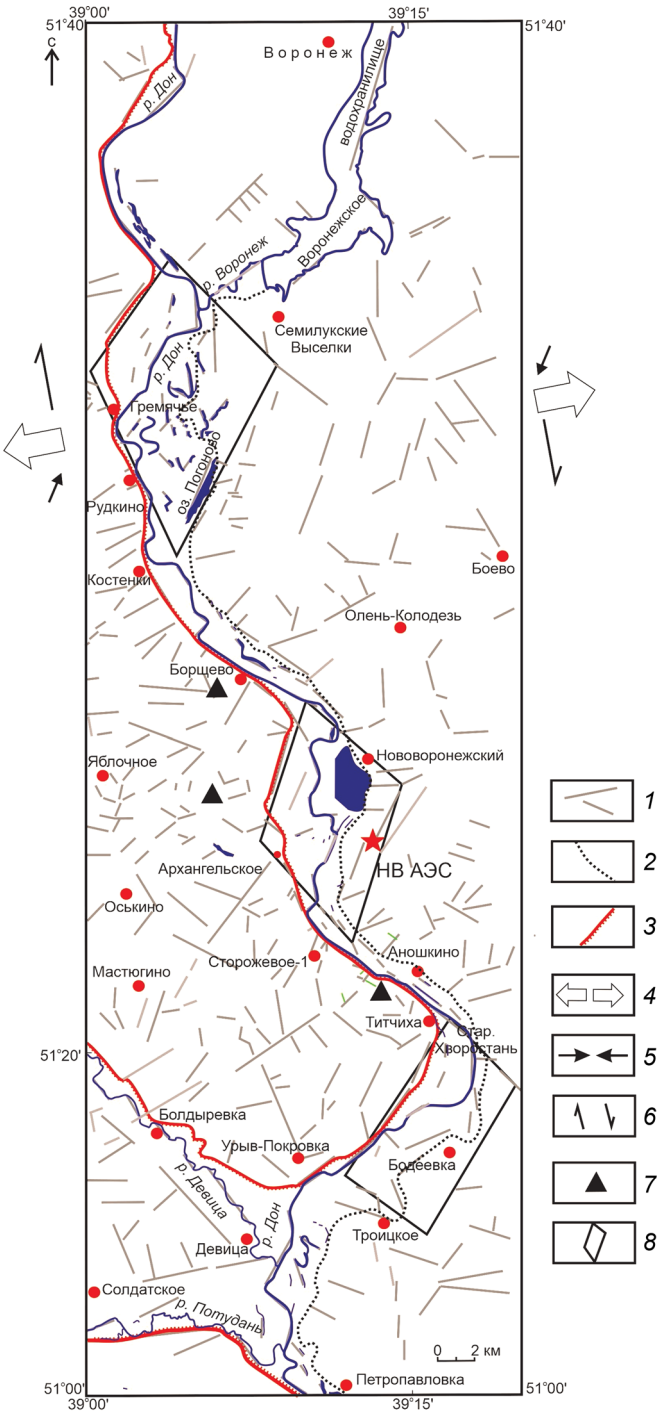

Рис. 3. Схема линеаментов, выделенных на территории развития Семилуки-Липецкого разлома: *1* — линеаменты, *2* — граница поймы и первой террасы на Левобережье, *3* — бровка донского уступа на Правобережье; главные оси напряжения: *4* — оси растяжения, *5* — оси сжатия, *6* — сдвиг; *7* — пункты замера трещин, *8* — впадины типа пулл-апарт

нижнемеловых породах залегает преимущественно песчаная толща, состоящая из плиоценовых аллювиальных и озерных отложений Палеодона (кривоборская свита aN_2kr) и четвертичных аллювиальных и флювиогляциальных отложений, относящихся ко времени отступания ранненеоплейстоценового донского оледенения (a,fgQ_1dns). В рельефе они слагают вал, определяемый как оз. Общая мощность отложений над фундаментом на левобережье составляет 120–140 м.

Важно отметить, что по данным бурения подошва нижнемеловых (барремских) глин на обоих берегах Дона находится на одной высоте.

На правобережье Дона при хорошей обнаженности верхнемеловых пород на нескольких участках исследована трещиноватость писчего мела. Эти отложения залегают субгоризонтально, слагают обрывы высотой до 25 м и более или вскрыты карьерами. Породы разбиты многочисленными трещинами. Трещины вертикальные, протяженные, местами рассекающие склон на отдельные блоки. По ним ниже по течению Дона локально образованы «дивы» — оригинальные ландшафтные формы — утесы Донского Белогорья. Многие трещины широкие, зияющие, со следами дробления и ожелезнения пород. Замеры трещин и их дальнейшая обработка выполнены в соответствии с методиками Ю.Л. Ребецкого и Л.М. Расцветаева. Тектонофизический анализ (расчеты поля напряжений выполнены Н.А. Гордеевым, ИФЗ РАН) измеренных борозд скольжения на поверхностях трещин в верхнемеловых породах показал, что

практически везде можно восстановить сбросовые, сбросо-сдвиговые или сдвиговые обстановки, связанные с широтным растяжением. Оси растяжения и оси сжатия преимущественно субгоризонтальны. Лишь на одном участке восстановлена локальная обстановка напряжения сжатия, ось которого ориентирована с северо-запада на юго-восток. Происхождение этого напряжения можно объяснить ростом и расширением обширного новейшего Ефремовского поднятия, представляют собой часть основного Воронежского поднятия.

Таким образом, анализ трещиноватости верхнемеловых отложений, выполненный разными методами, свидетельствует о том, что геодинамические условия формирования территории исследования соответствуют напряжению растяжения. Анализ дешифрирования цифровых карт рельефа и топокарт совместно с анализом данных полевых исследований показал, что парагенезис структур сжатия и растяжения, возможно, имеет транстенсионную природу или отвечает смене сдвиговых и транстенсионных обстановок (рис. 4). Полученные результаты подтвердили данные М.Л. Коппа, который ранее [2002, 2004] по анализу трещиноватости пород установил здесь сбросовую природу с правосдвиговой составляющей. Правосдвиговая кинематика этого разлома восстановлена Л.А. Сим [2018] на основании тектонофизической интерпретации линеаментов.

В обстановке горизонтального растяжения и развития интенсивной трещиноватости пород на высоком правобережье Дона широко развиты карст (воронки, небольшие пещеры), обвалы и оползни, обвальные и оползневые массивы разного размера, свежие современные или уже задернованные, сглаженные позднеплейстоценовые. Развитию оползней способствует присутствие в основании склона водоупорных глин барремского яруса нижнего мела, а также значительная высота и крутизна склона, подмыв его рекой и тектоническая обстановка. Помимо характерного бугристо-западинного рельефа, развиты оползневые валы. Фронтальные их части, обращенные к Дону, крутые, а тыловые понижения прямолинейные, наклонены к склону и углублены оврагами. Эти валы закономерно косо (северо-запад 330°) ориентированы по отношению к субмеридиональному руслу Дона, образуя кулисные ряды (рис. 5), отвечающие правосдвиговым напряжениям растяжения. Здесь же на правобережье Дона ниже по течению выделяются более крупные массивы с широким развитием оползней и зияющих трещин-рвов (рис. 6). С запада они ограничены дугообразными или прямолинейными понижениями — долинами рек Девица, Россошка и Еманча, а еще севернее — самой долиной Дона. Эти массивы можно считать потенциальными гравитационно-тектоническими образованиями, а ограничивающие их указанные долины — будущими трещинами отседания и отрыва.

При общем субмеридиональном простирании долина Дона, приуроченная к зоне СЛР, имеет различную морфологию. Выделяются расширенные и суженные участки, контролируемые линеаментами северо-восточного и северо-западного простирания. Расширения имеют ромбовидную или прямолинейную форму (рис. 3, 4, врезка). Эти особенности, а также повышенная мощность верхненеоплейстоцен-голоценового аллювия поймы до 20–25 м и низкие террасы в этих локальных впадинах позволяют отнести их к типу пулл-апарт, развивающихся в обстановке широтного горизонтального растяжения со сдвиговой составляющей, впервые упомянуты М.Л. Коппом [2002]. В одной из этих впадин расположена НВАЭС.

Условиями растяжения в зоне СЛР можно объяснить выходы источников подземных вод на берегах Дона в районах пос. Рудкино, Борщево, Сторожевое и Аношкино. В районе последнего восходящий источник сероводородно-железистого состава находится на широкой левобережной пойме южнее НВАЭС. Он имеет постоянный дебит вне зависимости от сезона, вода характеризуется относительной мягкостью, металлическим привкусом.

Инструментальные исследования, подтверждающие наличие Семилуки-Липецкого разлома. Будучи границей крупных новейших структур, СЛР как зона неоднородности выражен на геофизических материалах, характеризующих Лосевскую шовную зону в целом [Литосфера…, 2012], куда он входит, а также непосредственно территорию размещения НВАЭС.

Именно к Лосевской зоне по сейсмическим данным приурочено большее количество землетрясений, чем в мегаблоках, которые она разделяет [Надежка, 2010]. И хотя регистрируемые землетрясения в основном низкомагнитудные и верхнекоровые (до 2 км), они отражают современную активность земной коры в этом районе. Особенно сейсмичны сдвиговые геодинамические обстановки, которые установлены на участке Воронеж–Липецк. Предполагается, что это связано с субвертикальным наклоном СЛР.

Измерения микросейсмического шума, выполненные разными исследователями [Орлов, 2011; Литосфера…, 2012; Геотраверс…, 2002], показали, что граница Воронежского массива и Окско-Донского прогиба (т. е. зона СЛР) проявлена значительным возрастанием амплитуды сейсмического шума и отношения значений амплитуды его горизонтальной и вертикальной составляющих, что объясняется структурной разуплотненностью пород или их дроблением. Об этом же свидетельствуют данные глубинных сейсмических исследований в зоне вертикального погружения СЛР, где наблюдаются участки пониженных плотностей.

По данным магнитотеллурического зондирования, исследования теллурических токов, вертикального электрического зондирования на поверхности кристаллического фундамента выделяются зоны различного насыщения электропроводящими по-

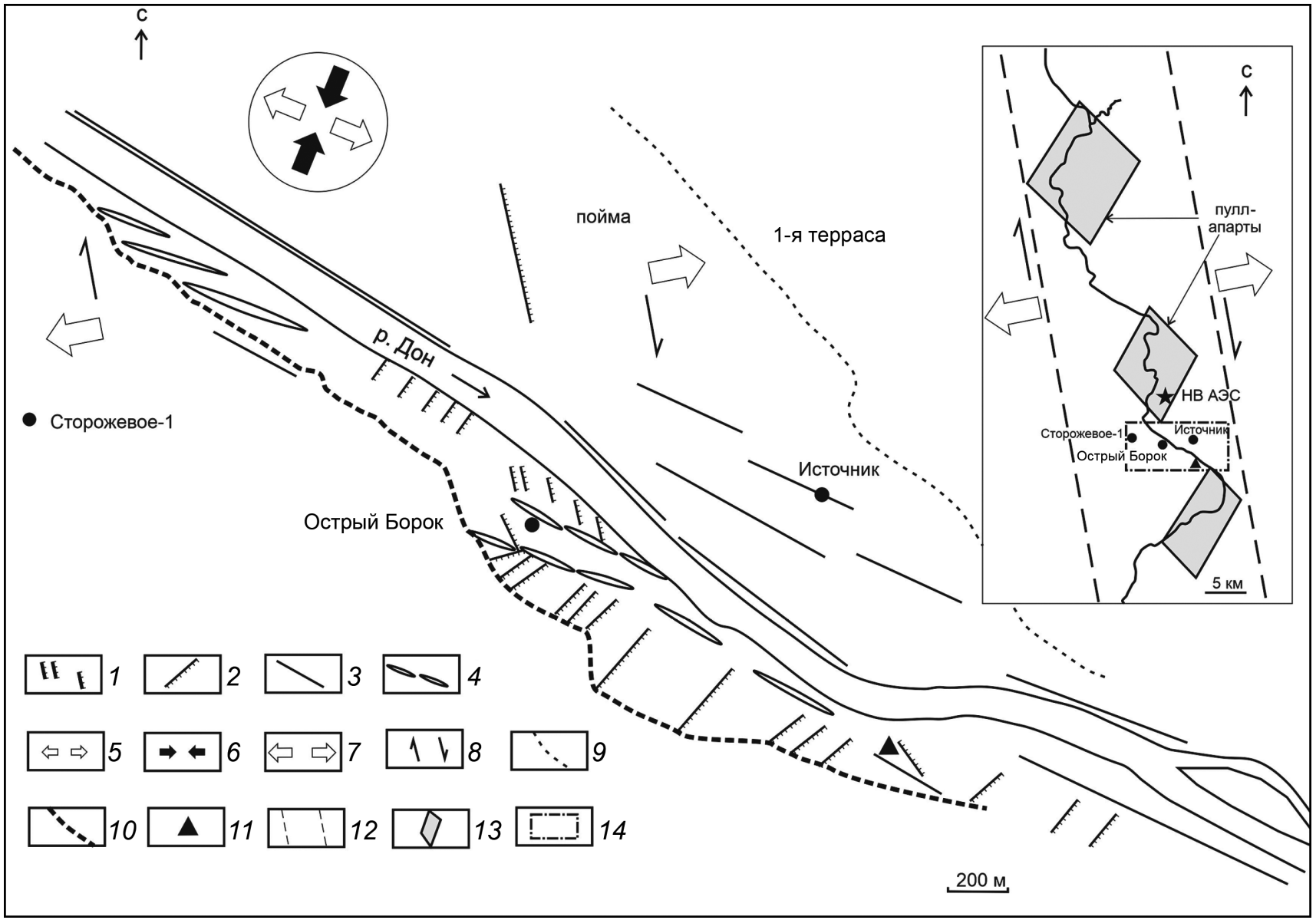

Рис. 4. Геодинамическая обстановка в зоне развития Семилуки-Липецкого разлома: *1* — трещины отрыва, *2* — сколы R2 (трещины отрыва, сгруппированные по направлению сколов), *3* — другие трещины, *4* — оси положительных структур, *5* — оси растяжения, *6* — оси сжатия, *7* — оси регионального растяжения, *8* — сдвиг, *9* — граница поймы и 1-й террасы на Левобережье, *10* — бровка донского уступа на Правобережье, *11* — пункт замера трещин; на врезке: *12* — зона разлома, *13* — впадины типа пулл-апартов, *14* — район исследования

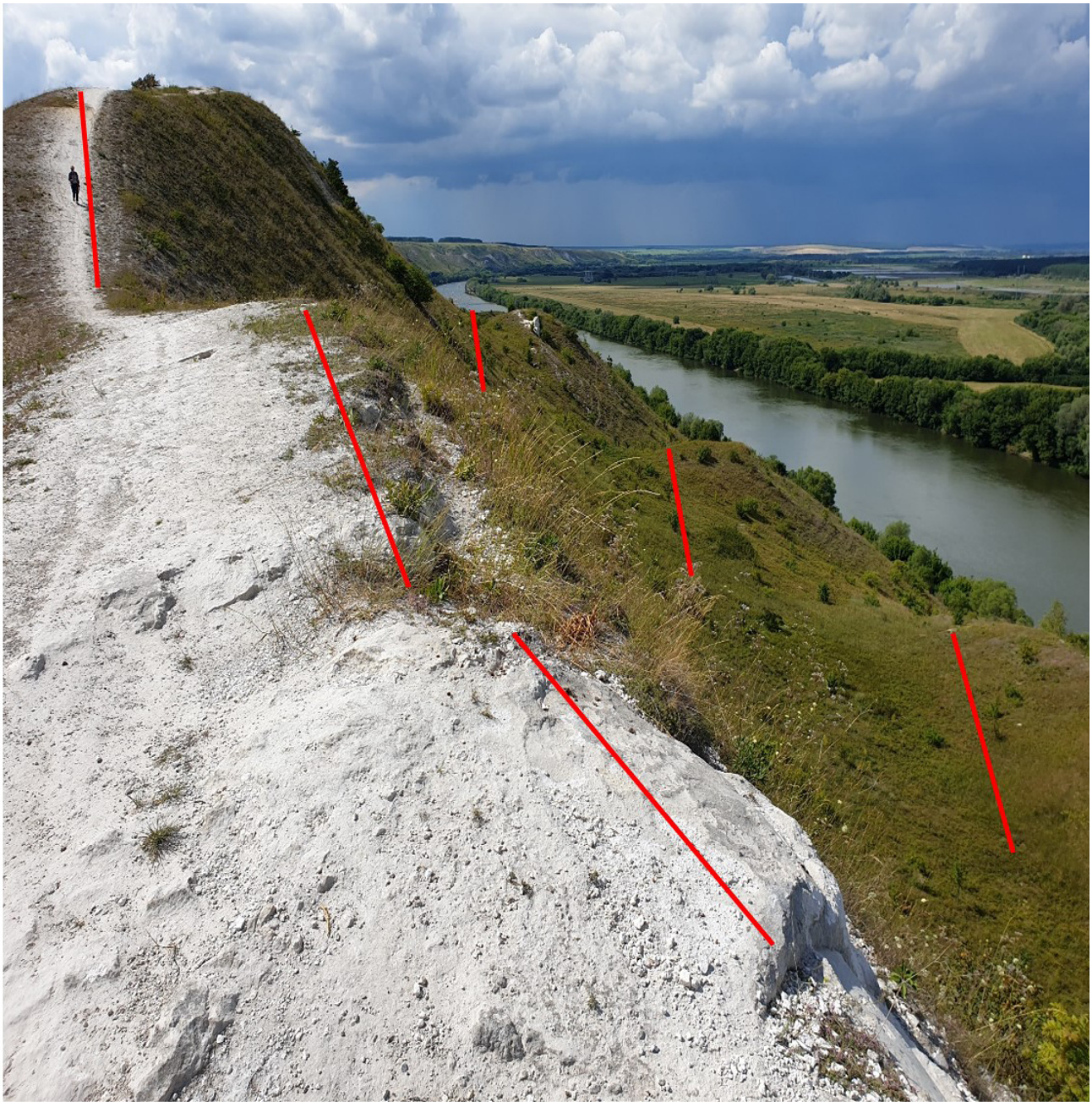

Рис. 5. Кулисное расположение валов в рельефе высокого Правобережья Дона (Острый Борок)

родами [Литосфера…, 2012]. СЛР разделяет области повышенных значений удельного сопротивления пород, образующих изолинии северо-западного простирания на западе, и относительного пониженного сопротивления на востоке. В гравитационном поле Лосевская зона характеризуется существенным повышением плотности мелких локальных элементов поля, образующих цепочки, а также резкой изрезанностью изолиний. Такой рисунок распределения аномалий поля силы тяжести может отвечать геодинамическим обстановкам современного растяжения [Литосфера…, 2012].

В магнитном поле простирание СЛР соосно простиранию осей геомагнитных аномалий разного ранга.

В региональных комплексных геолого-геофизических данных на сводном широтном разрезе [Литосфера…, 2012] СЛР отражен только в структуре фундамента как предположительный, тогда как выше, в осадочном чехле, его проявление не показано.

Более детальными геофизическими исследованиями (гравитационными, магнитными и частично электро- и сейсморазведкой) охарактеризована территория размещения НВАЭС и участок СЛР. По данным глубинного сейсмического зондирования поверхность фундамента, находящаяся на глубине около 110 м под площадкой и 80 м под поймой Дона, интенсивно раздроблена. Выделяются разрывные нарушения различного простирания. Из них диаго-

Рис. 6. Зияющие трещины-рвы в долине р. Россошка на Правобережье Дона

нальные и субмеридиональные разрывы некоторые исследователи, например [Спунгин и др., 2010], проводят через площадку, считая их активными. Однако на геологических профилях, использующих данные бурения, они не выделяются, так же, как и в рельефе земной поверхности. Следовательно, их можно считать древними. По данным сейсморазведки фиксируются многочисленные субвертикальные границы, отождествляемые с трещиноватостью пород в кровле верхнедевонских известняков, нарушенной еще и карстовыми процессами, что подтверждается материалами бурения. О трещиноватости рыхлых плиоцен-четвертичных отложений свидетельствуют косвенные признаки — в литологическом составе отложений вертикальные (столбчатые) фациальные неоднородности, которые образованы руслами, обычно использующими вертикальные трещины.

Помимо трещиноватости, в погребенных кровлях верхнедевонских, нижнемеловых и плиоценовых отложений в результате бурения выделяются более крупные, местами глубокие (до 20 м) понижения — палеорусла плиоценового Дона. Некоторым из них на поверхности соответствуют линеаменты, т.е. предположительно эти палеорусла приурочены к тектоническим трещинам. В отдельных местах кровля глинистого нижнемелового водоупора размыта палеоруслами Дона, и в этом случае грунтовые воды, заключенные в плиоценовых и четвертичных песках, соприкасаются с напорными водами девонского горизонта, вследствие чего образуются купола растекания, способствующие развитию суффозионных процессов.

По геодезическим данным западная часть площадки имеет наклон в сторону Дона, т. е. к зоне СЛР, и испытывает опускание со скоростью 0, 5 мм/год.

Таким образом, данные инструментальных исследований Семилуки-Липецкого разлома, как региональные, так и детальные, проведенные непосредственно на территории размещения НВАЭС, дополненные данными бурения и полевых исследований долины Дона на участке от устья р. Воронеж до устья р. Потудань, свидетельствуют о наличии зон разуплотнения, дробления и трещиноватости пород, опускания земной поверхности. Все это можно считать признаками растяжения в зоне этого разлома.

Выводы. Исследования одного из многочисленных разломов на юге Восточно-Европейской платформы с использованием различных методов — бурения, геофизических, геодезических, тектонофизических, геоморфологических, литологических, а также полевых и литературных данных — позволили определить тип нарушения и его развитие в настоящее время. Семилуки-Липецкий разлом на исследованном участке представляет собой новейший раздвиг, сопровождаемый правосдвиговыми напряжениями. Условия растяжения также доказываются типом трещиноватости в обнаженных породах правобережья Дона, активным развитием обвально-оползневых процессов, поверхностного и погребенного карста, наличием впадин типа пулл-апарт в контурах позднеплейстоцен-голоценовой долины Дона, а также наличием восходящего источника на пойме и опусканием земной поверхности в зоне разлома. По геофизическим данным отмечены субвертикальные границы в погребенных девонских и более молодых отложениях непосредственно под площадкой НВАЭС, что свидетельствует о раздробленности пород на глубине. С раздробленностью пород связаны фиксируемые бурением карст и трещиноватость в коренных породах и четвертичных отложениях. На территории НВАЭС по данным бурения меловые отложения на право- и левобережье Дона (т. е. на разных крыльях разлома) лежат на одном уровне. Геологической съемкой в окрестностях НВАЭС не установлены деформации осадочных, в том числе четвертичных, отложений.

Условия растяжения в исследуемом районе обусловлены различными причинами, но все они связаны с развитием крупного Окско-Донского прогиба, в состав которого входит территория исследования. Для новейшей структуры прогиба характерна система продольных, вытянутых вдоль него сопряженных зон поднятия и зон относительного опускания. Меридиональные линеаменты, выделенные по широким речным долинам, интерпретируются как формы растяжения. При этом часть линеаментов отражает выделенные по геофизическим данным разломы фундамента (Лосевско-Мамонский и др.), среднедевонские желоба в южной части прогиба, осложняющие восточное крыло Воронежской антеклизы, флексурный перегиб в кровле палеозойских

отложений (над ним меридиональная долина р. Цна) и др. Такую структуру прогиба М.Л. Копп объяснил [2002, 2004] давлением с юга, со стороны Альпийского пояса, в частности Кавказа.

Однако выдержанную на сотни километров меридиональность структуры новейшего прогиба и составляющих его локальных прогибов и поднятий, а также тот факт, что эта меридиональность установлена и для докембрийской структуры фундамента еще в протерозойское время (Лосевская шовная зона) и существовала в отдельные периоды палеозоя и мезозоя, сложно объяснить только давлением с юга в новейшее время. Обстановка растяжения может быть связана и с внутриплатформенными процессами. Расширение прогиба и структуры растяжения в его пределах могут быть результатом влияния глубинных подкоровых процессов, обусловленных подъемом мантийного вещества и его растеканием под смежные Воронежское и Приволжское поднятия [Макарова и др., 2002]. Подтверждением этого может быть известное «утяжеление» восточной части Воронежского массива, а также утонение и другие особенности земной коры под прогибом, выявленные по геофизическим данным [Краснопевцева, Щукин, 2000; Геотраверс…, 2002]. Ранее А.Д. Архангельский и Н.С. Шатский считали Окско-Донской прогиб большим рвом Восточно-Европейской платформы или глубокой трансрегиональной дислокацией, нераскрывшимся рифтом. Как новейшая структура Окско-Донской прогиб существует с раннего миоцена, о чем свидетельствует морской залив этого возраста, существовавший в его восточной части. На протяжении всего новейшего этапа происходила миграция Дона в западном направлении со скоростью 5–6 мм/год [Макарова и др., 2008], и в настоящее время он врезается в склон Воронежского поднятия. Причиной этого может быть рост Приволжского поднятия, сопровождающийся влиянием ротационных процессов.

Семилуки-Липецкий разлом находится на площади близкого к поверхности залегания фундамента и наследует древний разлом, один из тех, с которыми связывают образование блоковых новейших структур, а следовательно, и различные значения амплитуды вертикальных перемещений. Полученные данные не подтверждают вертикальных движений по разлому, по крайней мере на изученном участке. Но в этап новейшей тектонической активизации под действием горизонтального растяжения, инициированного давлением с юга со стороны границ литосферных плит или внутриплатформенными глубинными источниками деформации, разлом проявился в виде раздвига со сдвиговой компонентой. Интенсивная трещиноватость пород и развитие современных оползневых и обвальных процессов, свежих трещин отрыва-рвов на поверхности, а также сейсмичность границы, разделяющей Воронежское поднятие и Окско-Донской прогиб, свидетельствуют об активности тектонических процессов на исследуемой территории и в настоящее время. Детальное изучение Семилуки-Липецкого разрывного нарушения позволило выявить в этом районе новые для Восточно-Европейской платформы структуры — крупные гравитационно-тектонические массивы и впадины типа пулл-апарт.

Проведение аналогичных детальных исследований линеаментов, отождествляемых с разломами фундамента, хотя и на сравнительно небольших участках, может дать материалы для определения типа разломов, их роли в формировании новейших структур платформы, активности в настоящее время и влияния на негативные процессы, происходящие на территориях различных инженерных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Геотраверс «Гранит»: Восточно-Европейская платформа — Урал — Западная Сибирь (Строение земной коры по результатам комплексных геолого-геофизических исследований) / Под ред. С.Н. Кашубина. Екатеринбург, 2002. 312 с.

Грачев А.Ф. Карта новейшей тектоники Северной Евразии, м-б: 1:5 000 000. М.: МПР РФ, РАН, 1997.

Иванченко Г.Н. Оценка неотектонической активности Приокского участка Нелидово-Рязанской шовной зоны по геоморфологическим признакам // Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер. М.: ГЕОС, 2005. С. 126–134.

Карта новейшей тектоники Северной Евразии м-ба 1: 5 000 000 / Гл. ред. А.Ф. Грачев. М.: МПР РФ, РАН, 1997.

Копп М.Л. Кинематика новейшей структуры и сейсмичность Окско-Донского миоцен-четвертичного прогиба // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 3. С. 387–392.

Копп М.Л. Окско-Донской новейший прогиб. Мобилистская неотектоника платформ Юго-Восточной Европы / Отв. ред. Ю. Г. Леонов. М.: Наука, 2004. (Тр. ГИН РАН; вып. 552). С. 190–237.

Космотектоническая карта Восточно-Европейской платформы и ее обрамления / Ред. В.Е. Хаин. Л.: ВСЕГЕИ, 1989.

Краснопевцева Г.В., Щукин Ю.К. Объемная глубинная модель земной коры Восточно-Еропейской платформы по данным региональных сейсмических исследований // Региональная геология и металлогения. 2000. № 10. С. 73–84.

Литосфера Воронежского кристаллического массива по петрофизическим и геофизическим данным / Под ред. Н.М. Чернышова. Воронеж: Науч. книга, 2012. 326 с.

Макарова Н.В., Макаров В.И., Корчуганова Н.И. и др. Окско-Донской прогиб — неотектоническая активная зона Восточно-Европейской платформы // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 2. С. 3–13.

Макарова Н.В., Макаров В.И., Суханова Т.В. О соотношении эрозионных и тектонических процессов в платформенных и горных условиях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2008. № 5. С. 4–11.

Надежка Л.И., Орлов Р.А., Пивоваров С.П. и др. О связи параметров сейсмического шума с геологическими и геодинамическими особенностями Воронежского кри-

сталлического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. 2003. № 2. С. 179–185.

Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Ефременко М.А. Семенов А.Е. О землетрясениях на территории Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. 2010. № 1. С. 233–242.

Орлов Р.А. Использование микросейсмического шума для решения геологических задач в условиях платформы (на примере Воронежского кристаллического массива): Автореф. канд. дисс. Екатеринбург, 2011. 23 с.

Раскатов Г.И., Лукьянов В.Ф., Старухин А.А. и др. Тектоника восточной части Воронежского кристаллического массива и его осадочного чехла. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та., 1976. 120 с.

Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. М.: Наука, 1980.

Сим Л.А. Неотектонические напряжения Восточно-Европейской платформы: Автореф. докт. дисс. М., 1996.

Сим Л.А., Маринин А.В., Брянцева Г.В., Гордеев Н.А. Результаты изучения тектонических напряжений в регионах Северной Евразии // Геодинамика и тектонофизика. (Ин-т земной коры Сиб. отделения РАН). 2018. Т. 9, № 3. С. 771–800.

Спунгин В.Г., Бурчик В.А., Скворцов А.Г. Сейсмические сигналы турбогенераторов НВАЭС-1 в пределах площадки НВАЭС-2 и их связь с особенностями строения геологической среды // Мат-лы. XVI междунар. конф. «Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы». Т. 2. Воронеж: Науч. книга., 2010. С. 245–250.

Трегуб А.И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива. Воронеж: ВГУ, 2002. 220 с. (Тр. НИИ геологии Воронежского гос. ун-та)

Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.М., Стрик Ю.Н. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива // Геотектоника. 1997. № 3. С. 21–30.

Статья поступила в редакцию 31.05.2022,
одобрена после рецензирования 08.06.2022,
принята к публикации 26.01.2023